

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

LEB 0472 – HIDRÁULICA

Prof. Fernando Campos Mendonça

AULA 12 – HIDROMETRIA

ROTEIRO

Tópicos da aula:

- 1) Hidrometria – Definição e finalidade
- 2) Métodos de medição de vazão
- 3) Exemplos de aplicação
- 4) Exercício para entrega (Provinha Aula 12)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

LEB 0472 – HIDRÁULICA

Prof. Fernando Campos Mendonça

Aula 12 – HIDROMETRIA

1. Introdução

1.1. Definição: parte da Hidráulica que estuda os métodos e instrumentos para medição de vazão e velocidade em canais e canalizações.

2.1. Finalidades

- Abastecimento urbano
- Tarifação
- Lançamento de esgotos
- Geração de hidroeletricidade
- Defesa civil (inundações)
- Irrigação
- etc.

2. Métodos de medição de vazão

Categorias:

- Métodos diretos:

Método volumétrico ou de pesagem, hidrômetro e fluxímetro.

- Métodos que utilizam a relação velocidade/área

Flutuador, molinete, coordenadas em tubo com descarga livre, tubo de Pitot e processo colorimétrico.

- Métodos que utilizam constrição na seção transversal de escoamento

Venturímetro, diafragma, vertedores, calha Parshall e calha WSC

2.1. Métodos diretos

2.1.1. Método volumétrico

- Medição do tempo gasto para encher um recipiente de volume conhecido

$$Q = \frac{\text{Vol}}{T}$$

- Alternativa: pesar recipiente com volume desconhecido
(descontar peso do recipiente)

- Alteração do volume de água (V) em um recipiente de volume conhecido.

$$Q = \frac{\Delta V}{T} \quad \Delta V = V_2 - V_1$$

- Utilização: pequenos riachos e canais, medição de vazão em sulcos, em aspersores e gotejadores.

- Recomendação: mínimo de 3 repetições

Recipiente com tempo mínimo de enchimento de 20 segundos

2.1.2. Hidrômetro

- Medida de vazão em tubulações
- Rotor é posto em movimento pela corrente de água
- Acoplado a um mostrador, onde se lê o volume que passou pelo hidrômetro

$$Q = \frac{\text{Vol}}{T}$$

2.1.3. Fluxímetro

- Tubo transparente afunilado
- Dispositivo que obstrui parcialmente o fluxo de água
- Variações no fluxo de água mudam a posição do dispositivo no interior do fluxímetro
- Tubo afunilado é graduado para marcar a vazão a partir da posição do dispositivo
- Leitura direta e fácil

2.2. Métodos que empregam a relação velocidade/área

2.2.1. Flutuador

- Objeto flutuante que adquire a velocidade da água que o circunda
- Utilização: canais de pequeno ou médio porte
- Vantagem: determinação rápida
- Desvantagem: imprecisão causada por ventos, correntes secundárias e ondas

$$Q = V_m \times A$$

a) Determinação da velocidade média

Condutos livres:

(DESENHO DE CANAL E MEDIÇÃO DE VAZÃO COM FLUTUADOR)

$$V_m = 0,85 \cdot V_{sup}$$

$$V_m = V_{0,6H}$$

$$V_m = \frac{V_{0,2H} + V_{0,8H}}{2}$$

$$V_m = \frac{(V_{0,2H} + V_{0,8H} + 2 V_{0,6H})}{4}$$

Condutos forçados:

(DESENHO DE SEÇÃO TRANSVERSAL DE TUBO COM $V_m = V_{(0,707 R)}$)

$$V_m = V_{(0,707 R)}$$

R – Raio do tubo

b) Determinação da área da seção molhada

Condutos livres: determinação das áreas (triângulos e trapézios)

(DESENHO DE SEÇÃO TRANSVERSAL DE RIO)

Condutos circulares:

- Forçados ($P \neq P_{atm}$): $A = \frac{\pi D^2}{4}$

- Livres ($P = P_{atm}$): $A = R^2 \times Z^2$

Relação h/R \longrightarrow Z

Exemplo: cálculo de vazão com flutuador

LIVRO – GEANINI – PÁG. 346 a 348 (Considerar $V_m = 0,85 V_{sup}$)

2.2.2. Molinete

- Rotor que entra em movimento pela ação da corrente de água
- Princípio de funcionamento: proporcionalidade entre $V_{\text{água}}$ e V angular do rotor
- Mecanismo contador de rotação (eletrônico ou com sinais sonoros)
- Conversão de número de giros em vazão: curva de calibração

(GRÁFICO e EQUAÇÃO DE CALIBRAÇÃO DE UM MOLINETE)

$$V = 0,307 N + 0,04$$

N – n^o de rotações

2.2.3. Método das coordenadas

- Medida de vazão em tubos de descarga livre

(DESENHO DE TUBO COM DESCARGA LIVRE)

$$V = 2,21 \frac{x}{\sqrt{y}}$$

2.2.4. Tubo de Pitot

- Tubo com formato de “L”, com orifício disposto no sentido do fluxo
- Transformação de energia de velocidade em energia de pressão

DESENHO – XEROX – TARLEI

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (1 - \text{tubo} \quad 2 - \text{dentro do Pitot})$$

$$\frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} = H$$

$$V_1^2 = 2 g H \quad V_1 = \sqrt{2 g H}$$

- Na prática, V_{real} é um pouco inferior à teórica
- V é corrigida por uma constante K , que depende das características do aparelho

$$V = K \sqrt{2 g H} \quad \text{Água: } K = 0,92 \text{ a } 0,98$$

Exemplo: cálculo de vazão com tubo de Pitot

LIVRO GEANINI – PÁG. 372

2.3. Métodos que empregam uma restrição na seção transversal de escoamento

2.2.1. Orifícios

- Estudados à parte

2.2.2. Venturímetro e diafragma

- Redução da seção de escoamento

DESENHO – XEROX – TARLEI – VENTURÍMETRO E DIAFRAGMA

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2$$

$$S_1 V_1 = S_2 V_2$$

$$\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}$$

$$\frac{\pi D_1^2}{4} V_1 = \frac{\pi D_2^2}{4} V_2$$

$$z_2 - z_1 = H = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

$$V_2 = \frac{D_1^2}{D_2^2} V_1$$

$$V_2^2 - V_1^2 = 2 g H \quad (1)$$

$$V_2 = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 V_1 \quad (2)$$

(2) em (1):

$$\left[\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 V_1\right]^2 - V_1^2 = 2 g H$$

$$\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4 V_1^2 - V_1^2 = 2 g H$$

$$V_1^2 = \frac{2 g H}{\left[\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4 - 1\right]}$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 g H}{\left[\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4 - 1\right]}}$$

$$Q = S_1 V_1$$

$$Q = \frac{\pi D_1^2}{4} \sqrt{\frac{2 g H}{\left[\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4 - 1\right]}}$$

$$\frac{\pi \sqrt{2 g}}{4} = 3,48$$

$$Q = \frac{3,48 D_1^2 \sqrt{H}}{\sqrt{\left[\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4 - 1\right]}}$$

na prática (Cd)

$$Q = \frac{3,48 C_d D_1^2 \sqrt{H}}{\sqrt{\left[\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4 - 1\right]}}$$

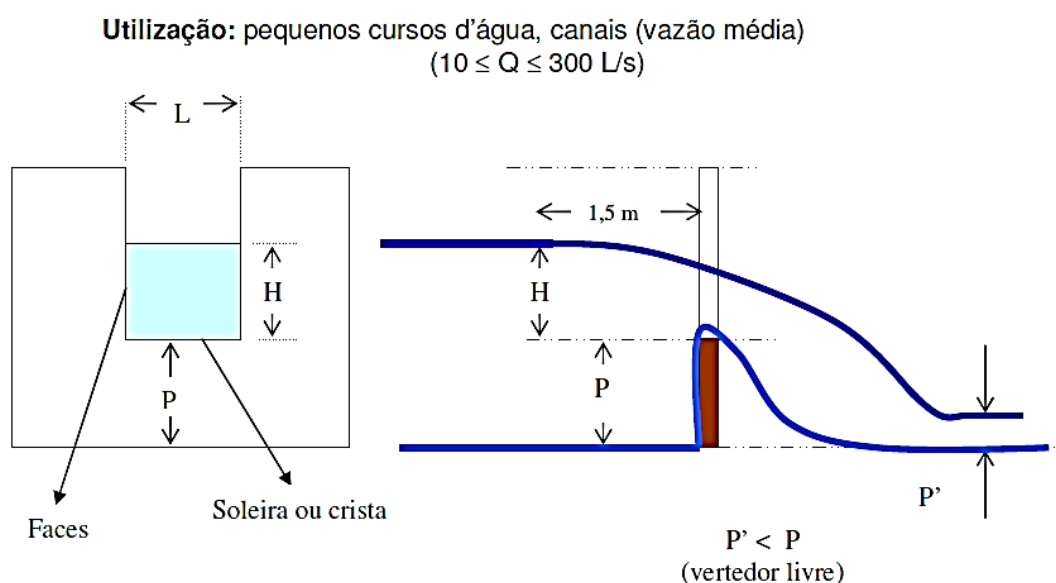
Venturímetro: Cd = 0,98

Diafragma: Cd = 0,62

2.2.3. Vertedores

- Aberturas feitas na parte superior da parede de um conduto livre através do qual escoo o líquido cuja vazão se deseja medir
- Formatos: triangular, retangular ou trapezoidal
- Utilização: medição de vazão em canais de irrigação, represas e pequenos rios
- Parede espessa ou delgada (espessura da parede inferior à metade da carga hidráulica)

DESENHO DE VERTEDOR



L → largura da soleira

H → altura da lâmina de água que passa (carga hidráulica) sobre a soleira

P → distância do fundo d'água à soleira

P' → profundidade do curso de água à jusante do vertedor

Observações:

- Soleira deve ser biselada a jusante e estar nivelada (MOSTRAR NO DESENHO)
- Ventilação sob a lâmina d'água, não deve operar afogado (MOSTRAR NO DESENHO)
- Velocidade de aproximação do vertedor: $V < 0,15$ m/s
- Medida de H (local): distância de 4 H a 10 H do vertedor ($\pm 1,5$ m a montante)
- Carga hidráulica: $5 \text{ cm} \leq H \leq 60 \text{ cm}$
- Altura do fundo à soleira do vertedor: $P \geq 2 H$ (P deve ser superior a 20 cm);
- Nível da água a jusante (abaixo) do vertedor: no mínimo 10 cm abaixo da soleira
- Dimensões mínimas recomendadas (2H para todos os lados)

Medição de vazão em vertedores de parede delgada

a) Vertedores retangulares:

Sem contração lateral:

$$Q = 1,84 L H^{1,5}$$

Q – vazão, m³/s

L – largura da soleira, m

H – carga d'água, m

Com contração lateral:

$$Q = 1,84 (L - 0,2 H) H^{1,5}$$

b) Vertedor triangular:

Ângulo de abertura = 90°

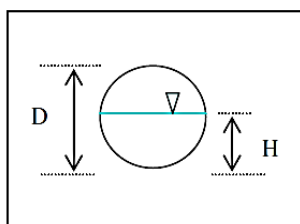
$$Q = 1,38 H^{2,5}$$

c) Vertedor trapezoidal:

Vertedor Cipoletti: faces de abertura com inclinação 1:4 (H:V)

$$Q = 1,86 L H^{1,5}$$

d) Vertedor circular:



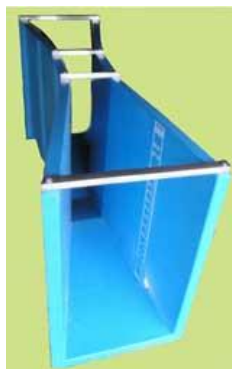
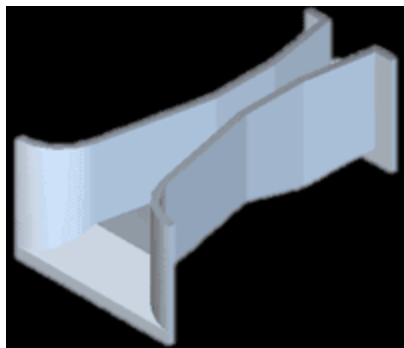
$$Q = 1,518 \cdot D^{0,693} \cdot H^{1,807}$$

(Q = m³/s ; H = m ; D = m)

2.2.4. Calhas Parshall e WSC

- Adaptação do princípio de Venturi à medição de vazão em condutos livres

CALHAS PARSHALL



Vazão

$$Q = C_f \times (3,28 \times H_a)^{nf}$$

C_f – coef. de descarga livre (tabelado)

nf – expoente empírico de vazão

H_a – carga hidráulica na seção convergente, m

Obs.: as cargas hidráulicas a montante (H_a) e a jusante (H_b) da garganta (contração) devem ser monitoradas, pois há limites para a relação H_b/H_a .

Garganta	Relação Máx. H_b/H_a
$\leq 9''$ ($\leq 22,9$ cm)	0,60
$> 9''$ ($\leq 22,9$ cm)	0,70

Exemplos 9.6 e 9.7 – livro GEANINI – pág. 360 e 361

6. Exercício (Provinha)

LEB 0472 – Hidráulica

Nome:

Data:

Calcular a vazão a partir dos seguintes dados:

a) Vertedor de parede delgada, tipo retangular com contração lateral

$$L = 1,2 \text{ m}$$

$$H = 0,25 \text{ m}$$

b) Tubo de Pitot

$$K = 0,92$$

$$H = 0,35 \text{ m}$$

c) Venturímetro

$$C_d = 0,98$$

$$D_1 = 100 \text{ mm (0,1 m)}$$

$$D_2 = 25 \text{ mm (0,025 m)}$$

$$H = 0,4 \text{ m}$$